Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 1-14

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۴-۱

تحمل به یخ‌زدگی اکوتیپ‌های سیر (*Allium sativum* L.) تحت تاثیر تاریخ کاشت در شرایط کنترل‌شده

صفیه پذیره[۱]، احمد نظامی[۲]*، محمد کافی[۲]، مرتضی گلدانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۴

چکیده

سیر گیاهی دارویی و سرمادوست است اما در مورد میزان تحمل به سرمای آن اطلاعات چندانی در دسترس نمی‌باشد. این آزمایش به‌منظور بررسی میزان تحمل اکوتیپ‌های مختلف این گیاه به تنش یخزدگی، در سال ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار، اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار اکوتیپ سیر (بجنورد، تربت حیدریه، خواف و نیشابور)، هشت دمای یخزدگی (دمای صفر (شاهد)، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸- و ۲۱- درجه سانتی‌گراد) و دو تاریخ کاشت (۲۸ شهریور و ۳۰ مهر) بودند. برای این منظور گیاهان کشت شده در گلدان در فضای آزاد جهت خوسرمایی رشد یافته و سپس به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. سه هفته پس از اعمال دماهای یخزدگی درصد بقاء، دمای کشنده ۵۰ درصد گیاهان براساس درصد بقاء (LT_{50su})، ارتفاع، سطح برگ، دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ ($RLAT_{50}$)، وزن خشک و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ($RDMT_{50}$) تعیین شدند. نتایج نشان داد اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخزدگی بر درصد بقاء، ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک در پایان دوره بازیافت معنی‌دار بود. با وجود این‌که در کاشت اول تنها دو اکوتیپ بجنورد و تربت حیدریه قادر به تحمل دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد بودند اما در کاشت دوم دو اکوتیپ تربت حیدریه و نیشابور در دمای ذکر شده به‌ترتیب متحمل ۴۰ و ۳۳ درصد تلفات گیاهی شدند در حالی‌که اکوتیپ‌های خواف و بجنورد از حداکثر بقاء برخوردار بودند. LT_{50su} در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه در کاشت اول کمتر از کاشت دوم بود، اما در اکوتیپ‌های نیشابور و خواف، گیاهان کاشت دوم نسبت به کاشت اول LT_{50su} کمتری داشتند. سطح برگ اکوتیپ‌های تربت حیدریه، خواف و نیشابور در کاشت دوم نسبت به کاشت اول افزایش بیشتری داشتند، در حالی‌که اکوتیپ بجنورد در کاشت اول دارای بیشترین سطح برگ بود. در هر دو تاریخ کاشت کمترین $RLAT_{50}$ و $RDMT_{50}$ را اکوتیپ بجنورد به خود اختصاص داد، در صورتی‌که در کاشت اول بیشترین مقدار این دو شاخص در اکوتیپ خواف مشاهده شد. همبستگی بالایی بین $RLAT_{50}$ و $RDMT_{50}$ با LT_{50su} (به‌ترتیب $r=0/98^{**}$ و $r=0/90^{**}$) وجود داشت و لذا به نظر می‌رسد که می‌توان از این شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به یخزدگی سیر استفاده کرد. بررسی تحمل به سرمای سیر در شرایط مزرعه، جهت بررسی همبستگی احتمالی بین نتایج آن با شرایط کنترل‌شده سودمند خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، خوسرمایی، درصد بقاء، دمای یخزدگی، سرما

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) از جمله پرمصرف‌ترین مکمل‌های غذایی است و دارای خواص متعددی از جمله درمان عفونت‌ها و قارچ‌های پوستی، قدرت ضدعفونی‌کنندگی، حشره‌کشی، ضدباکتریایی و کاهش‌دهنده فشارهای جسمی و روحی می‌باشد (Sato and Miyata, 2000; Bayat and Nosrati, 2001). سطح زیر کشت سیر در ایران متغیر بوده و در سال ۱۳۹۱ حدود ۱۰۰۰۰ هکتار با میانگین عملکرد ۹ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2012). استان خراسان از جمله مناطق مستعد کشت سیر می‌باشد که تاریخ کاشت مرسوم آن از ۱۵ مهر تا ۱۵ آذر است، با وجود این در برخی شرایط در نتیجه کشت آن در بهار عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر شواهدی در دسترس است که به دلیل کاشت آن در تاریخ کاشت نامناسب در پاییز، گیاهان دچار تنش یخزدگی شده و آسیب دیده‌اند، زیرا با وجود این‌که سیر به سرمای زمستانه تحمل نسبی دارد (Peyvast, 2000)، با این حال سرمای شدید ممکن است سبب بروز صدمات غیر قابل برگشت و حتی مرگ گیاه شود (Mirmohammadi and Tarkesh, 2004).

در تحقیقی که در ساسکاتچوان کانادا انجام شد کشت پاییزه سیر توصیه گردید زیرا کاشت سیر در فصل بهار در مقایسه با کاشت پاییز ۱۶ درصد کاهش عملکرد داشت و عملکرد کل قابل فروش در کشت پاییزه دو برابر کشت بهاره بود (Waterer, 2001). در کاشت پاییزه تجمع ماده خشک گیاهان به دلیل افزایش طول دوره رشد نسبت به

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Nezami@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.60080

کاشت‌های بهاره افزایش می‌یابد (Gusta *et al*., 1982)، به‌علاوه به دلیل استفاده بهتر از نزولات جوی کارایی مصرف آب بهبود می‌یابد (Singh *et al*., 1997). با وجود افزایش عملکرد در کشت پاییزه، در کشت‌های دیر هنگام پاییزه، به دلیل مواجه شدن گیاهچه‌ها با دمای پایین و کاهش سطح برگ در هنگام تشکیل اندام ذخیره‌ای کاهش عملکرد مشاهده می‌شود (Borna *et al*., 2007). کاهش عملکرد سیر با به تعویق افتادن تاریخ کاشت توسط محققان دیگر از جمله Abbasi-Far (2000) و Kilgori *et al*. (2007) نیز گزارش شده است. باید توجه داشت که در کشت پاییزه، گیاهان در معرض انواع تنش‌های زمستانه از جمله تنش سرما قرار می‌گیرند و در همین راستا برخی گزارش‌ها حاکی است که میزان خسارت سرما و یخبندان بر محصولات زراعی کشور بیشتر از خسارت سایر پدیده‌های مخرب جوی و حتی گاهی بیشتر از خسارت آفات و بیماری‌ها می‌باشد (Amir-Ghasemi, 2002). لذا تلاش برای یافتن گیاهانی که مقاومت به تنش یخزدگی داشته باشند، ضروری به نظر می‌رسد (Maleki-Farahani and Chaichi, 2008).

امروزه محققان استفاده از آزمون‌های انجماد کنترل‌شده را به‌عنوان روش مناسبی جهت ارزیابی تحمل به سرمای گیاهان توصیه نموده‌اند (Nezami *et al*., 2007; Ganj-Khanlou *et al*., 2012). هرچند در این آزمایش‌ها به علت وجود برهمکنش‌های فراوان در پاسخ به تنش و سازگاری، شناخت عوامل تحمل امری دشوار است، اما با این حال این‌گونه آزمایش‌ها کمک به‌سزایی به درک راهکارهای تحمل گیاهان به تنش سرما می‌نمایند (Nazari *et al*., 2012). تعیین درصد بقای زمستانه در آزمایش‌های کنترل‌شده به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب جهت ارزیابی تحمل به سرما معرفی شده است (Gostin, 2009)، در همین راستا اظهار شده است که LT_{50su}[1]، به‌عنوان معیار مناسبی در آزمون انجماد کنترل شده در هنگام استفاده از طوقه گندم (*Triticum aestivum* L.)، بیشترین همبستگی را با شاخص بقای مزرعه‌ای داشته است (Fowler *et al*., 1981). در بررسی تحمل به یخزدگی مینای چمنی (*Bellis perennis*)، هر چند گیاهان تا دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد را تحمل کردند، اما در دماهای پایین‌تر به کلی از بین رفتند. ضمن این‌که دمای کشنده ۵۰ درصد گیاهان (LT_{50su}) نیز ۱۷- درجه سانتی‌گراد بود (Javad Mousavi *et al*., 2011). خورسندی (Khorsani *et al*., 2015) بر روی تحمل به یخزدگی اکوتیپ‌های سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مشاهده کرد که تا دمای ۴/۵- درجه سانتی‌گراد درصد بقای گیاهان تقریباً ثابت بود و با کاهش دما در تمام اکوتیپ‌ها روندی کاهشی در درصد بقاء مشاهده شد، ولی این کاهش در اکوتیپ‌های نیشابور، بیرجند و فردوس شدیدتر بود.

توانایی گیاه برای بهبود یافتن پس از مواجهه با دماهای پایین نیز عامل مهمی در ارزیابی‌های تحمل به سرما می‌باشد (Kazemi and Hazbavi, 2009)، که به‌عنوان شاخصی مناسب از تحمل به سرما مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است (Workmaster and Palta, 2006). کیان و همکاران (Qian *et al*., 2001) مشاهده کردند که کاهش دماهای یخزدگی رشد مجدد اندام‌های هوایی در ارقام مختلف بوفالوگراس (*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm) را تحت تأثیر قرار داد و با کاهش دما از ۸- به ۱۲- درجه سانتی‌گراد، بیشترین کاهش رشد مجدد (۶۲ درصد) در رقم UCR-95 مشاهده شد، در حالی‌که رقم 118-91 کاهش کمتری (۶ درصد) نشان داد، به‌طوری‌که این دو رقم با دارا بودن بیشترین و کمترین دمای کاهنده ۵۰ درصد رشد مجدد اندام هوایی (به‌ترتیب ۱۰- و ۲۲- درجه سانتی‌گراد) به‌عنوان حساس‌ترین و مقاوم‌ترین ارقام شناخته شدند.

میزان تحمل گونه‌های گیاهی به تنش سرما در مراحل مختلف رشدی، متفاوت است به‌طوری‌که جلیلیان و همکاران (Jalilian *et al*., 2009) با انجام آزمایشی بر روی ارقام چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در شرایط گلخانه گزارش کردند که چغندرقند در مرحله دو برگی حقیقی نسبت به مرحله کوتیلدونی به دماهای زیر صفر حساس‌تر می‌باشد و درصد خسارت در مرحله کوتیلدونی حدود هفت درصد کمتر از مرحله دو برگی حقیقی بود. محققان همچنین اظهار داشتند که تاریخ کاشت نیز از طریق تأثیر بر مرحله رشدی و اندازه بوته در زمان شروع سرما از جمله عوامل مؤثر در میزان خسارت تنش سرما می‌باشد (Siahmargooei *et al*., 2011).

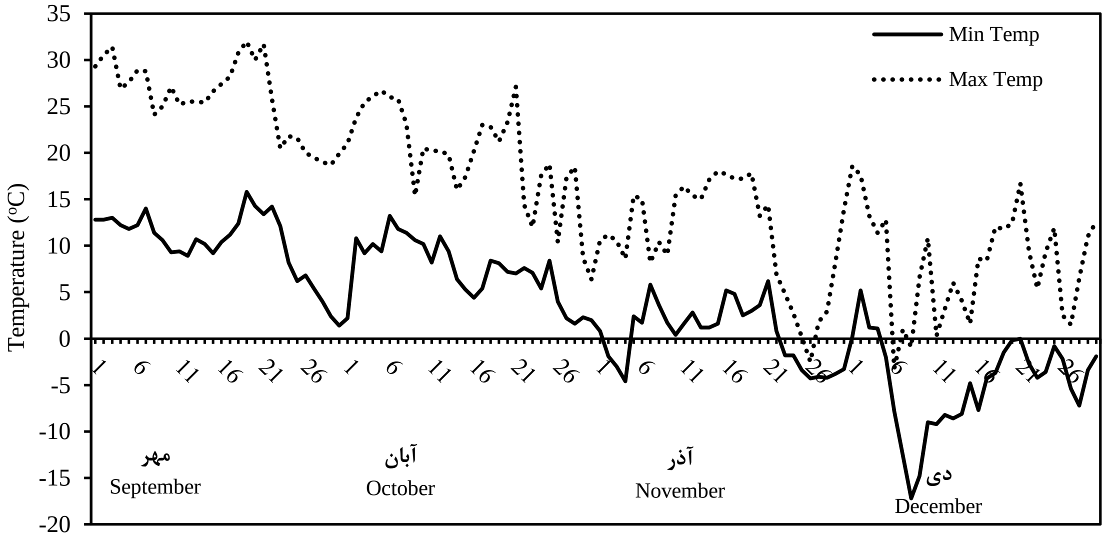
انتظار می‌رود که کشت پاییزه سیر سبب بهبود عملکرد این گیاه شود، لذا با توجه به اطلاعات اندک در ارتباط با تحمل به یخزدگی گیاه سیر، آزمایش حاضر با هدف بررسی تحمل به سرما و شناخت حساس‌ترین مرحله رشدی اکوتیپ‌های سیر به تنش سرما در شرایط کنترل شده اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در پاییز سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. چهار اکوتیپ سیر (بجنورد، تربت حیدریه، خواف و نیشابور) در دو تاریخ ۲۸ شهریور و ۳۰ مهر کشت شده و در معرض هشت تیمار دمایی (صفر (شاهد)، ۳-، ۶-، ۹-، ۱۲-، ۱۵-، ۱۸- و ۲۱- درجه درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. اکوتیپ‌ها در تابستان سال ۱۳۹۱ از چهار منطقه خواف (گرم و خشک)، نیشابور (معتدل)، تربت حیدریه (سرد و نیمه خشک) و بجنورد

1- Lethal Temperature 50 According to the Plant Survival Percentage

(معتدل کوهستانی) جمع‌آوری و تا زمان کاشت در سردخانه با دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در ابتدای آزمایش سیرچه‌ها از پیازهای سالم و مطلوب جدا شده و جهت جلوگیری از پوسیدگی، با قرار دادن در محلول یک در هزار قارچ‌کش کاربندازیم ضدعفونی شدند. سپس پنج سیرچه در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۲ سانتی‌متر در عمق سه سانتی‌متری خاک کشت شدند. خاک گلدان‌ها حاوی نسبت مساوی از شن، خاک برگ و خاک مزرعه بود.



شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه طی پاییز و زمستان ۱۳۹۱

Figure 1- Daily minimum and maximum temperatures during autumn and winter, 2012

جهت خوسرمایی، گیاهان تا اواخر دی ماه در هوای آزاد و شرایط طبیعی رشد کردند و در این مدت دماهای حداقل و حداکثر روزانه ثبت شدند (شکل ۱). ضمن این‌که در شب‌هایی که دما به کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد می‌رسید گیاهان به شاسی سردی انتقال داده می‌شدند که دمای حداقل آن بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد بود. اول بهمن ماه گیاهان به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در شروع آزمایش پنج درجه سانتی‌گراد بود و پس از قرار دادن نمونه‌ها با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. جهت القاء هستک یخ در گیاهچه‌ها، بر روی گیاهان در دمای ۲- درجه سانتی‌گراد محلول INAB[1] پاشیده شد و پس از آن دما با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یافت. گیاهان به مدت یک ساعت در تیمارهای دمایی مورد نظر نگه داشته شده و سپس از فریزر خارج شدند. در مرحله بعد و برای کاهش سرعت ذوب یخ در گیاه، نمونه‌ها در طول شب به اتاقک سرد با دمای ۲±۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. سپس نمونه‌های گیاهی به گلخانه منتقل شده و پس از گذشت سه هفته درصد بقاء و بازیافت آن‌ها ارزیابی شد. جهت تعیین درصد بقاء از معادله (۱) استفاده شد (Fowler *et al.*, 1981).

$$SU\% = \frac{A}{B} \times 100 \quad (۱)$$

که در آن A، B و SU% به‌ترتیب تعداد بوته بعد و قبل از یخ‌زدگی و درصد بقاء می‌باشد. هم‌زمان صفات دیگری نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک آن‌ها پس از ۴۸ ساعت قرار داشتن در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. جهت تعیین درجه حرارت ۵۰ درصد کشندگی براساس درصد بقاء، دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ ($RLAT_{50}$)[2] و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاهان ($RDMT_{50}$)[3] نیز نقطه عطف منحنی تابع لجستیک، به‌عنوان نقطه میانی بین نقاط حداقل و حداکثر مجانب منحنی، در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C1.42 انجام گردید و رسم شکل‌های مربوطه توسط نرم‌افزار EXCEL صورت گرفت. همبستگی داده‌ها نیز به‌وسیله نرم‌افزار MINITAB16 محاسبه شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

با کاهش دما درصد بقاء به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) کاهش یافت، اما این کاهش بسته به اکوتیپ‌ها متفاوت بود. درصد بقای

1- Ice nucleation active bacteria

2- Reduced Leaf Area Temperature 50

3- Reduced Dry Matter Temperature 50

اکوتیپ‌های مورد بررسی تا دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد نسبتاً مشابه با دمای شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) بود، ولی با کاهش بیشتر دما درصد بقای آن‌ها به‌طور متفاوتی کاهش یافت. به‌طوری‌که درصد بقای اکوتیپ بجنورد در دمای ۱۸- سانتی گراد ۴۳/۳ درصد بود، در حالی‌که سایر اکوتیپ‌ها شدیداً خسارت دیده و کاملاً از بین رفتند (جدول ۱).

جدول ۱- اثر متقابل اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی بر درصد بقاء و بازیافت گیاه سیر پس از اعمال تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده

Table 1- Interaction of ecotype and freezing temperatures on survival percentage and recovery of garlic plant after freezing in controlled conditions

اکوتیپ Ecotype	تیمار Treatment	درصد بقاء Survival (%)	ارتفاع Height (cm)	سطح برگ Leaf area (cm^2)	وزن خشک Dry weight (mg)
بجنورد Bojnurd	0	96.6	21.8	27.3	164
	-3	96.6	23.4	26.9	149
	-6	93.3	19.9	25.9	134
	-9	86.6	22.2	24.3	128
	-12	93.3	23.7	23.7	126
	-15	77.5	20.1	21.9	124
	-18	43.3	10.8	8.5	58
	-21	00.0	00.0	00.0	0.0
تربت حیدریه Torbat heydariyeh	0	100.0	23.5	31.0	221
	-3	96.6	24.1	31.3	213
	-6	96.6	23.8	29.3	203
	-9	86.6	24.2	27.3	201
	-12	82.2	19.8	24.2	140
	-15	53.8	12.1	16.3	98
	-18	3.33	1.00	0.65	6.0
	-21	0.0	0.0	00.0	0.0
خواف Khaf	0	66.6	21.1	29.2	244
	-3	63.3	18.3	26.2	238
	-6	56.6	15.6	23.8	178
	-9	56.6	14.4	24.8	177
	-12	56.6	16.4	22.5	132
	-15	40.0	8.01	15.7	84
	-18	0.0	0.0	00.0	0.0
	-21	0.0	0.0	0.00	0.0
نیشابور Neyshabur	0	90.0	25.3	30.2	177
	-3	90.0	24.8	32.5	194
	-6	75.0	21.9	23.6	180
	-9	75.0	24.1	21.6	134
	-12	73.3	21.0	17.4	132
	-15	20.0	8.66	7.88	65
	-18	0.0	0.0	0.0	0.0
	-21	0.0	0.0	0.0	0.0
LSD $_{(0.05)}$		9.85	2.38	2.95	22

نتایج مطالعه اثر دماهای یخ‌زدگی بر سه ژنوتیپ نخود (*Cicer aretinum* L.) نیز نشان داد که هر چند با کاهش دما درصد بقای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاهش یافت ولی این کاهش بسته به ژنوتیپ متفاوت بود، به‌طوری‌که درصد بقای گیاهان تا دمای ۱۰- درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری با دمای شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) نداشت، ولی با کاهش بیشتر دما درصد بقای آن‌ها به شدت کاهش یافت. در دمای ۱۶- درجه بقای ژنوتیپ MCC741 حدود ۳۰ درصد بود در حالی‌که دو ژنوتیپ دیگر تقریباً از بین رفتند (Kykha-Akhar *et al*., 2011).

درصد بقای گیاهان به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.05$) تحت تأثیر اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی قرار گرفت. در کاشت اول، دو اکوتیپ بجنورد و تربت حیدریه در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای شاهد به‌ترتیب ۲۰ و ۲۶ درصد کاهش بقاء داشتند، در حالی‌که دو اکوتیپ دیگر در این دما نابود شدند. در کاشت دوم، دو اکوتیپ خواف و بجنورد در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد درصد بقای نسبتاً مناسبی داشتند اما در دو اکوتیپ نیشابور و تربت حیدریه به‌ترتیب ۶۰ و ۶۷ درصد گیاهان از بین رفتند (جدول ۲).

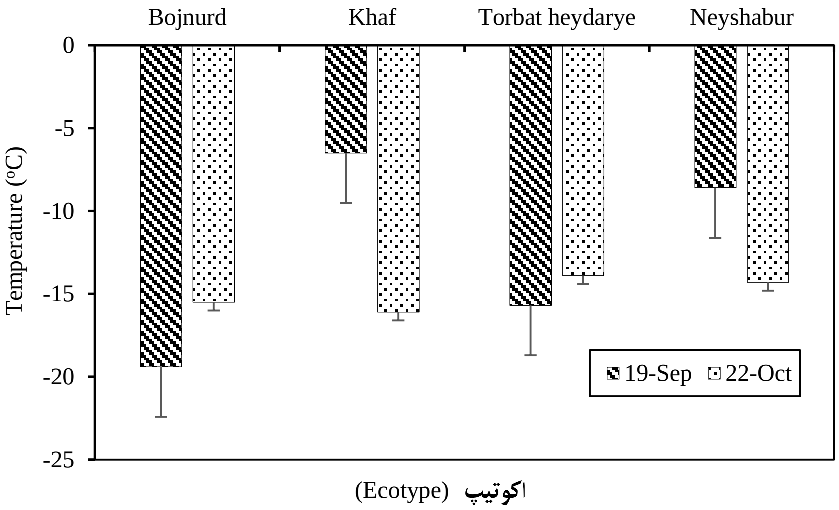
جدول ۲- اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی بر درصد بقاء و وزن خشک گیاه سیر پس از اعمال تنش یخ‌زدگی تحت شرایط کنترل‌شده

Table 2- Interaction of planting date, ecotype and freezing temperatures on Survival and plant dry weight of garlic plant after freezing in controlled conditions

صفات Parameters	تاریخ کاشت Planting dates	تیمار Treatment	بجنورد Bojnurd	تربت حیدریه Torbat heydariyeh	خواف Khaf	نیشابور Neyshabur
درصد بقاء Survival (%)	۲۸ شهریور 19 September	0	100.0	100.0	33.3	80.0
		-3	100.0	100.0	33.3	80.0
		-6	100.0	100.0	20.0	50.0
		-9	86.6	86.6	13.3	50.0
		-12	93.3	86.6	20.0	46.6
		-15	80.0	74.4	0.0	0.0
		-18	80.0	6.7	0.0	0.0
		-21	0.0	0.0	0.0	0.0
	۳۰ مهر 21 October	0	93.3	100.0	100.0	100.0
		-3	93.3	93.3	93.3	100.0
		-6	86.6	93.3	93.3	100.0
		-9	86.6	86.6	100.0	100.0
		-12	93.3	77.7	93.3	100.0
		-15	75.0	33.3	80.0	40.0
		-18	6.6	0.0	0.0	0.0
		-21	0.0	0.0	0.0	0.0
	LSD $_{(0.05)}$	13.9				
وزن خشک Dry weight (mg)	۲۸ شهریور 19 September	0	154	204	54	124
		-3	118	218	45	123
		-6	121	204	13	134
		-9	118	202	17	88
		-12	118	126	8	6
		-15	115	91	0	0
		-18	104	13	0	0
		-21	0	0	0	0
	۳۰ مهر 21 October	0	174	238	434	229
		-3	179	208	431	265
		-6	147	203	344	227
		-9	138	206	338	180
		-12	135	154	256	169
		-15	133	106	168	130
		-18	11	0	0	0
		-21	0	0	0	0
	LSD $_{(0.05)}$	31.1				

پدیده خوسرمایی به‌عنوان نتیجه تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی باعث افزایش تحمل به یخ‌زدگی می‌شود و ایجاد این مقاومت نیز تابع خوسرمایی کافی می‌باشد که ممکن است در مرحله رشدی خاص توسعه یابد (Xin and Browse, 2000; Smallwood and Bowles, 2002). در زمان اعمال تنش یخ‌زدگی، اغلب گیاهان اکوتیپ‌های خواف و نیشابور در کاشت اول در مرحله چهار برگی و در کاشت دوم در مرحله دو برگی بودند و اکوتیپ بجنورد و تربت حیدریه نیز در هر دو تاریخ کاشت مرحله رشدی پایین‌تری نسبت اکوتیپ‌های به نیشابور و خواف داشتند. لذا به نظر می‌رسد که پدیده خوسرمایی به‌صورت مناسب‌تری در مرحله رشدی پایین در گیاهان ایجاد شده است. در یک بررسی بر روی تحمل به سرمای لاین‌های نخود در ۹ تاریخ کاشت (از ۲۳ اکتبر تا ۶ مارس) در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای مشاهده شد که با تأخیر در تاریخ کاشت از ۲۳ اکتبر به ۵ نوامبر تحمل به سرمای ارقام نخود افزایش یافت (Singh *et al*., 1989). در بررسی دیگری نیز مشاهده شد که با افزایش سن گیاه در مرحله رشد رویشی حساسیت اکوتیپ‌های نخود سیاه به تنش سرما افزایش می‌یابد به‌طوری‌که تنش در مرحله ۸ برگی (نسبت به ۴ و ۶ برگی) به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش درصد مرگ بوته‌ها شد (Maleki-Farahani and Chaichi, 2008).

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر LT_{50su} معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود، به‌طوری‌که مقدار آن با تغییر کاشت از شهریور به مهرماه در اکوتیپ‌های خواف و نیشابور به‌ترتیب ۹/۶ و ۶ درجه سانتی‌گراد کاهش و در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه به‌ترتیب ۳/۹ و ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (شکل ۲).



شکل ۲- اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای ۵۰ درصد کشندگی براساس درصد بقای گیاهان سیر پس از اعمال یخ‌زدگی در شرایط کنترل شده. خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدد $LSD_{(0.05)}$ می‌باشد.

Figure 2- Interaction of planting date and ecotype on Lethal Temperature 50% according to the survival percentage of garlic after freezing in controlled conditions. Vertical lines on bars represent the amount of $LSD_{(0.05)}$

در یک بررسی بر روی دو رقم زویسیاگراس (*Zoysia* spp.) مشاهده شد که رقم Meyer دمای ۵۰ درصد کشندگی کمتری نسبت به Cavalier داشت. حداکثر تحمل به یخ‌زدگی در Cavalier در نوامبر (۹/۶- درجه سانتی‌گراد) بود در حالی‌که کمترین LT_{50su} در Meyer با (۱۵/۴- درجه سانتی‌گراد) در دسامبر مشاهده شد (Zhang *et al.*, 2009).

در این بررسی بین درصد بقاء و دمای ۵۰ درصد کشندگی بر اساس درصد بقا همبستگی منفی و معنی‌داری (r=-۰/۹۷**) مشاهده شد (جدول ۳)، که نشان‌دهنده کاهش LT_{50su} با افزایش درصد بقای گیاهان می‌باشد. مطالعه انجام شده بر روی گیاه علف شور (*Salsola kali*) نیز نشان داد که گیاهان با LT_{50su} کمتر دارای درصد بقای بیشتری هستند (Shahab *et al.*, 2003).

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات گیاه سیر تحت تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل‌شده

Table 3- Correlation coefficients among traits of garlic under freezing stress in controlled conditions

	1	2	3	4	5	6	7
۱- درصد بقاء 1- Survival %	**1**						
2- LT_{50su}	-0.97^{**}	1					
۳- ارتفاع 3-Height	0.87^{**}	-0.77^{*}	1				
۴- سطح برگ 4- Leaf area	0.79^{*}	-0.74^{*}	0.87^{**}	1			
5- $RLAT_{50}$	-0.98^{**}	0.98^{**}	-0.83^{**}	-0.77^{*}	1		
۶- وزن خشک 6- Dry weight	0.71^{*}	-0.64^{ns}	0.77^{**}	0.95^{**}	-0.68^{ns}	1	
7- $RDMT_{50}$	-0.93^{**}	0.90^{**}	-0.87^{**}	-0.71^{*}	0.90^{**}	-0.55^{ns}	1

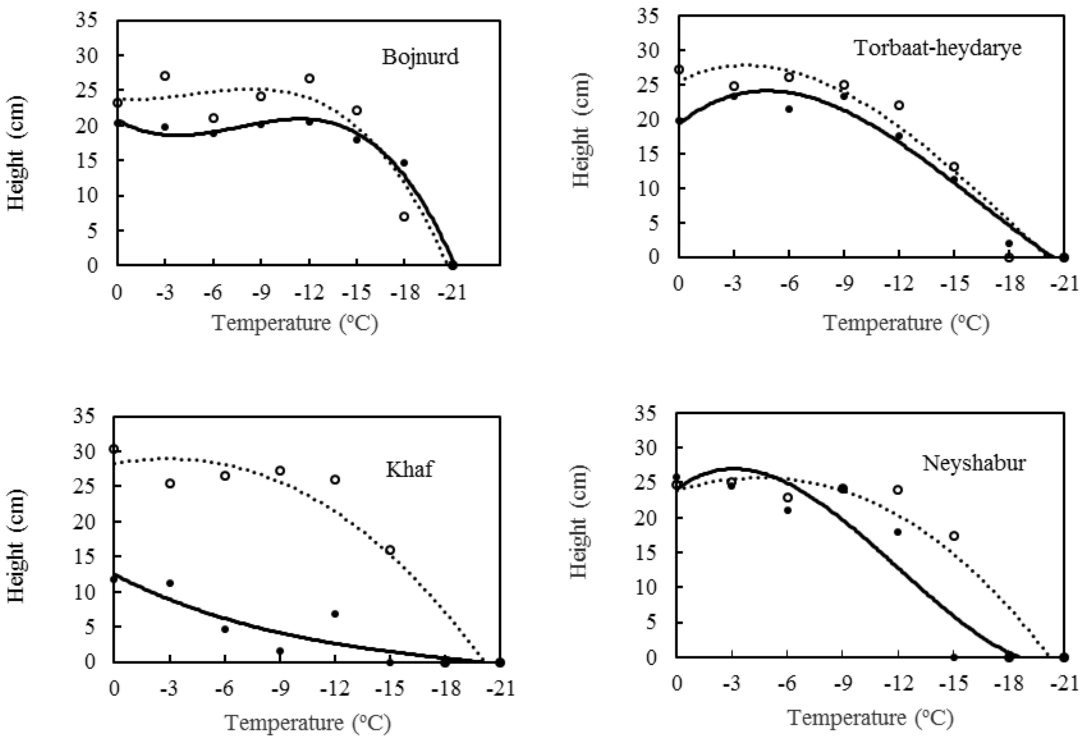
ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد

ns, * and **: Non significant, significant in 5 and 1 % levels, respectively.

ارتفاع اکوتیپ‌های سیر تحت تأثیر دماهای یخ‌زدگی به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.05$) کاهش یافت. هرچند با کاهش دما ارتفاع بوته در هر چهار اکوتیپ کاهش یافت، اما پاسخ آن‌ها نسبت به کاهش دما متفاوت بود، به‌طوری‌که در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای شاهد بیشترین درصد کاهش ارتفاع (به‌ترتیب حدود ۶۶ و ۶۲ درصد) در اکوتیپ‌های نیشابور و خواف مشاهده شد. در حالی‌که در اکوتیپ بجنورد این کاهش در شرایط مشابه حدود ۸ درصد بود (جدول ۱). در بررسی اثر تنش یخ‌زدگی بر گیاه رازیانه

(*Foeniculum vulgare* L.) نیز کاهش دما به ۹- درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش ۵۸ و ۲۵ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) به‌ترتیب در اکوتیپ‌های کرمان و گناباد شد (Rashedmohassel *et al*., 2009).

اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود. در کاشت اول با کاهش دما از صفر به ۱۸- درجه سانتی‌گراد، بیشترین درصد کاهش ارتفاع (۹۰ درصد) در اکوتیپ تربت حیدریه و کمترین آن (۲۸ درصد) در اکوتیپ بجنورد مشاهده شد و اکوتیپ‌های نیشابور و خواف در این دما از بین رفتند، در حالی‌که در گیاهان کاشت دوم با کاهش دما از صفر به دمای مذکور (۱۸- درجه سانتی‌گراد) درصد کاهش در اکوتیپ بجنورد ۷۰ درصد بود، اما در شرایط مشابه سایر اکوتیپ‌ها قادر به تحمل این دما نبودند (شکل ۳). همچنین در تاریخ کاشت دوم در دمای ۱۵- درجه درصد کاهش در اکوتیپ‌های خواف، تربت حیدریه و نیشابور به‌ترتیب ۴۷، ۵۲ و ۳۰ بود اما اکوتیپ بجنورد تنها ۴ درصد کاهش ارتفاع نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد داشت. با توجه به این‌که در هر دو تاریخ کاشت اکوتیپ بجنورد از درصد کاهش کمتری در دماهای پایین‌تر برخوردار بوده است لذا به نظر می‌رسد که این اکوتیپ توانایی بهبود مناسب‌تری را نسبت به سایر اکوتیپ‌ها دارد. این توانایی می‌تواند به زیستگاه رویشی این اکوتیپ نسبت داده شود چرا که بجنورد نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه دارای اقلیم سردتری می‌باشد. همچنین از آن‌جایی‌که اکوتیپ بجنورد به دلیل نیاز سرمایی بیشتر، جوانه‌زنی دیرهنگام داشته است این موضوع هم می‌تواند باعث تجمع مواد ذخیره‌ای بیشتری در زمان اعمال تنش و در نتیجه افزایش تحمل گردد.

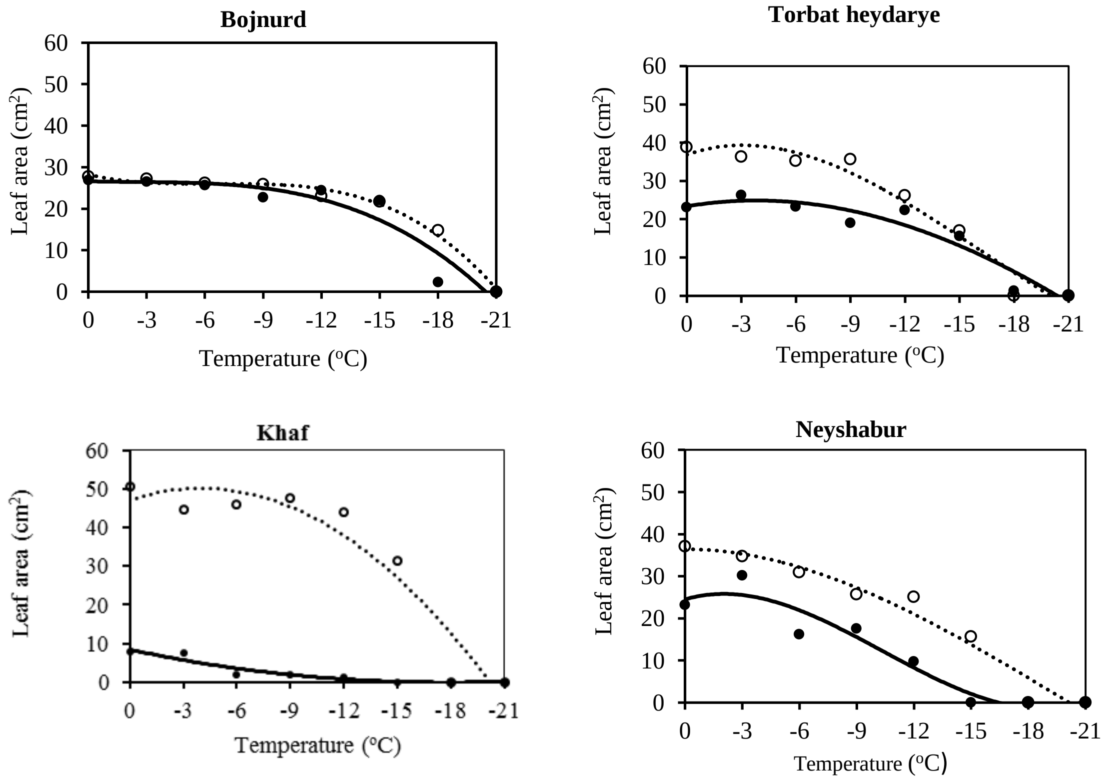


شکل ۳- اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی بر ارتفاع گیاه سیر سه هفته پس از اعمال تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل‌شده. مقدار حداقل تفاوت معنی‌دار ۳/۳۷ می‌باشد. (● و ○ به‌ترتیب کاشت اول و دوم)

Figure 3- Interaction of planting date, ecotype and freezing temperature on height of garlic three weeks after freezing in controlled conditions. LSD value is 3.37. (●, ○first and second planting date, respectively)

علی‌رغم این‌که با کاهش دماهای یخ‌زدگی سطح برگ هر چهار اکوتیپ سیر کاهش داشت، ولی درصد کاهش آن در هر یک از اکوتیپ‌ها متفاوت بود، به نحوی که اکوتیپ‌های تربت حیدریه، خواف و نیشابور با کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب حدود ۴۷، ۴۶ و ۷۴ درصد کاهش سطح برگ داشتند، در حالی‌که این کاهش در اکوتیپ بجنورد حدود ۲۰ درصد بود (جدول ۱). محققان اظهار داشتند که قرار گرفتن گیاه در معرض تنش یخ‌زدگی منجر به کاهش سطح برگ‌ها و حتی ریزش آن‌ها می‌شود که این موضوع احتمالاًبه دلیل توقف شدید متابولیسم برگ و کاهش توانایی آن برای بازیابی مجدد می‌باشد (Dexter, 1993; Amir- Ghasemi, 2002).

اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی بر سطح برگ معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود، به‌طوری‌که در کاشت اول در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد اکوتیپ‌های تربت حیدریه و بجنورد دارای کمترین کاهش سطح برگ (به‌ترتیب حدود ۳ و ۱۷درصد) نسبت به دمای صفر درجه سانتی‌گراد بودند، در حالی‌که اکوتیپ‌های خواف و نیشابور بیشترین درصد کاهش (به‌ترتیب ۸۵ و ۵۸ درصد) را داشتند. همچنین در گیاهان کاشت دوم با کاهش دما به ۱۵- درجه سانتی‌گراد، درصد کاهش سطح برگ در اکوتیپ بجنورد نسبت به صفر درجه سانتی‌گراد، ۱۸ درصد بود، اما در شرایط مشابه اکوتیپ‌های تربت حیدریه، خواف و نیشابور به‌ترتیب ۵۶، ۳۸ و ۵۸ درصد کاهش سطح برگ داشتند (شکل ۴).

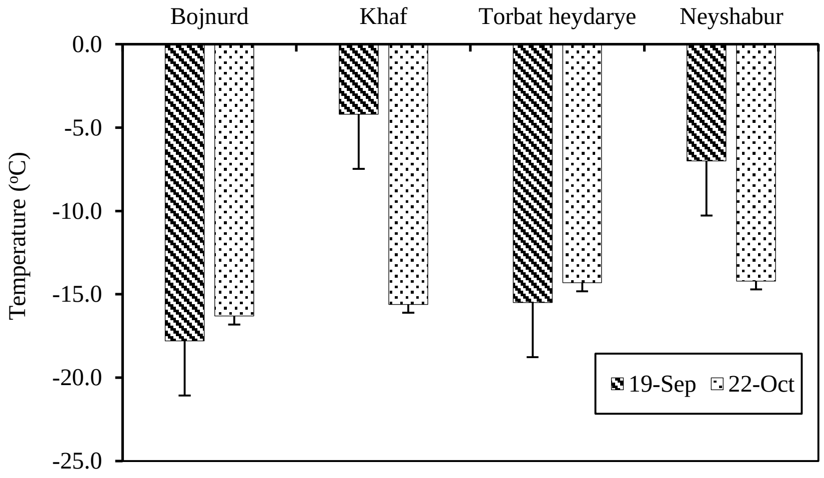


شکل ٤- اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی بر سطح برگ گیاه سیر سه هفته پس از اعمال تنش یخ‌زدگی در شرایط کنترل‌شده. مقدار حداقل تفاوت معنی‌دار ٤/۱۷ می‌باشد (● و ○ به‌ترتیب کاشت اول و دوم)

Figure 4- Interaction of planting date, ecotype and freezing temperature on leaf area from garlic plant after freezing in controlled conditions. LSD value is 4.17. (●, ○first and second planting date, respectively)

در یک مطالعه مشاهده شد که در کاشت اول دو گونه شبدر قرمز (*Trifolium pratense*) و شبدر ایرانی (*T. resupinatum*) در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نسبت به شاهد (صفر درجه سانتی‌گراد) به‌ترتیب ۹۸ و ۴۸ درصد کاهش سطح برگ داشتند، در حالی‌که در کاشت دوم در دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد، سطح برگ گونه ایرانی نسبت به دمای شاهد ۱۲ درصد افزایش داشت، اما در گونه‌های قرمز، سفید (*T. repense*) و لاکی (*T. incarnatum*) سطح برگ کاهش داشت (Hazrati, 2014). بررسی‌ها بیانگر آن است که گیاهانی که قبل از وقوع سرما دارای رشد سریع‌تری بودند حساسیت بیشتری به سرما داشته و در نتیجه آسیب بیشتری نیز دیده‌اند (Azizi *et al*., 2007). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش رشد گیاهان سیر در اکوتیپ‌های خواف و نیشابور و پیشرفت آن‌ها به سمت مراحل رویشی پیشرفته‌تر باعث کاهش تحمل به سرما در گیاهان در کاشت اول شده است (شکل ۴). در بررسی سایر محققان نیز مشاهده شده است که گیاهان در مراحل رشدی پیشرفته نسبت به مراحل اولیه به سرما حساسیت بیشتری داشته‌اند (Anderson and Taliaferro, 1995; Calcagno and Gallo, 1993).

اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت بر دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود، به‌طوری‌که در اکوتیپ‌های خواف و نیشابور با تغییر کاشت از ۲۸ شهریور به ۳۰ مهر ماه $RLAT_{50}$ کاهش یافت، اما در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه با تغییر کاشت اول به دوم $RLAT_{50}$ افزایش داشت (شکل ۵). در این بررسی بین LT_{50su} و سطح برگ همبستگی منفی و معنی‌داری (r= -۰/۷۴*) مشاهده شد.



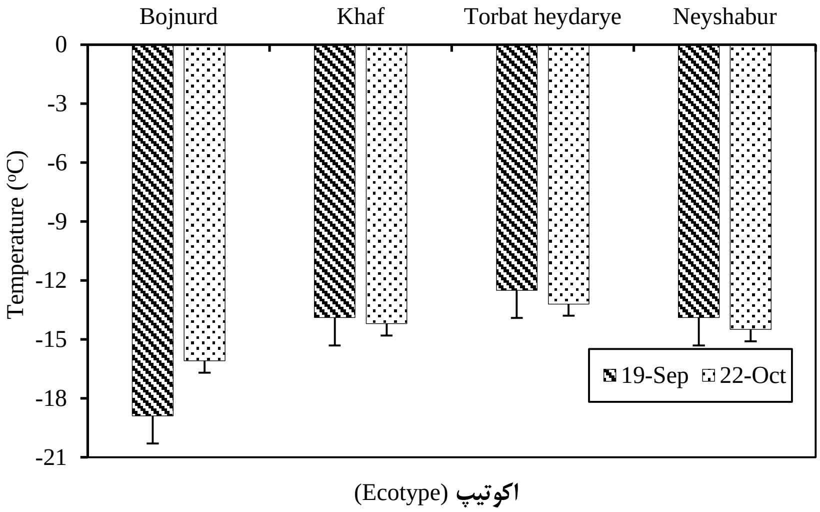
شکل ۵- اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای کاهنده ۵۰ درصد سطح برگ اکوتیپ‌های سیر تحت دماهای یخ‌زدگی در شرایط کنترل‌شده. خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدد $LSD_{(0.05)}$ می‌باشد.

Figure 5- Interaction of planting date and ecotype on $RLAT_{50}$ of garlic ecotypes after three weeks freezing in controlled conditions. Vertical lines on bars represent the amount of $LSD_{(0.05)}$

نتایج حاصل از اثرات متقابل اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی نشان داد که هر چند با کاهش دما، وزن خشک بوته در پایان دوره بازیافت در هر چهار اکوتیپ سیر کاهش یافت، ولی واکنش اکوتیپ‌ها متفاوت بود، به‌طوری‌که با کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد، درصد کاهش وزن خشک در هر یک از اکوتیپ‌های بجنورد، تربت حیدریه، نیشابور و خواف به‌ترتیب حدود ۲۴، ۵۶، ۶۴ و۶۶ درصد بود. همچنین با کاهش دما از صفر به ۱۸- درجه سانتی‌گراد، اکوتیپ‌های تربت حیدریه و بجنورد به‌ترتیب حدود ۹۷ و ۶۵ درصد کاهش وزن خشک داشتند، ولی اکوتیپ‌های نیشابور و خواف در دمای مذکور کاملاً از بین رفتند (جدول ۱). در مطالعه‌ای بر روی نخود مشاهده شد که در ژنوتیپ حساس با کاهش دما از صفر به ۹- درجه سانتی‌گراد وزن خشک گیاه، وزن خشک ساقه و وزن خشک شاخه‌ها به‌ترتیب ۴۱، ۵۵ و ۴۰ درصد کاهش یافت (Moshtaghi *et al*., 2009). در بررسی دیگری نیز مشاهده شد که واکنش ارقام گندم به یخ‌زدگی متفاوت بود و بین ارقام مورد بررسی، رقم بزوستایا رشد مجدد بهتری نسبت به سایر ارقام داشت. برخی محققین، کاهش وزن خشک در دوره بازیافت را ناشی از اثر خسارت یخ‌زدگی بر گیاه و کاهش توانایی رشد مجدد آن دانستند (Azizi *et al*., 2009).

اثر متقابل تاریخ کاشت، اکوتیپ و دماهای یخ‌زدگی بر وزن خشک بوته در پایان دوره بازیافت معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود، به‌طوری‌که در گیاهان کاشت اول، با کاهش دما از صفر به ۱۲- درجه سانتی‌گراد وزن خشک بوته در اکوتیپ‌های بجنورد، تربت حیدریه، نیشابور و خواف به‌ترتیب حدود ۲۴، ۳۸، ۲۳ و ۸۵ درصد کاهش داشت. همچنین با کاهش دما از صفر به ۱۵- درجه سانتی‌گراد وزن خشک بوته در اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه به‌ترتیب حدود ۲۶ و ۵۶ درصد کاهش داشت، در حالی‌که اکوتیپ‌های نیشابور و خواف دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد را تحمل نکرده و از بین رفتند. در گیاهان کاشت دوم وزن خشک بوته در دمای ۱۲- درجه در اکوتیپ‌های بجنورد، تربت حیدریه، نیشابور و خواف به‌ترتیب حدود ۲۲، ۳۵، ۲۶ و ۴۱ درصد نسبت به دمای صفر کاهش داشتند (جدول ۲). به نظر می‌رسد چون گیاهان در کاشت دوم دارای برگ‌های جوان‌تری بودند روند تحمل به سرمای بهتری را نشان داده‌اند. همان‌گونه که وانر و جونتیکا (Waner and Junttila, 1999) نیز اظهار داشتند که برگ‌های جوان و مناطق مریستمی برگ‌های جوان نسبت به برگ‌های مسن‌تر در مقابل دماهای پایین متحمل‌تر بودند. بنابراین به نظر می‌رسد جوان‌تر بودن اکوتیپ‌ها در کاشت دوم منجر به رشد مجدد بهتر و افزایش وزن خشک آن‌ها در دوران بازیافت شده است.

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر RDMT50 نیز معنی‌دار ($p\leq0.05$) بود و با تأخیر در کاشت، میزان $RDMT_{50}$ در اکوتیپ‌های خواف، نیشابور و تربت حیدریه کاهش یافت، اما در اکوتیپ بجنورد با تغییر کاشت اول به دوم $RDMT_{50}$ افزایش یافت (شکل ۶). همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r=0/90^{**}$) بین LT_{50su} و $RDMT_{50}$ مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ٦- اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک اکوتیپ‌های سیر تحت تاثیر دماهای یخ‌زدگی در شرایط کنترل‌شده. خطوط عمودی روی ستون‌ها نشان‌دهنده عدد $LSD_{(0.05)}$ می‌باشد.

Figure 6- Interaction of planting date and ecotype on Reduced Dry Matter temperature 50 from garlic ecotypes under freezing temperatures in controlled conditions. Vertical lines on bars represent the amount of $LSD_{(0.05)}$

نتیجه‌گیری

تنش یخزدگی سبب کاهش درصد بقاء و بازیافت اکوتیپ‌های سیر شد. با وجود این بسته به تاریخ کاشت و اکوتیپ و شدت تنش یخزدگی صفات مورد مطالعه به‌طور متفاوتی تحت تأثیر قرار گرفت. در کاشت اول اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه درصد بقای بهتری داشتند و اکوتیپ‌های خواف و نیشابور از درصد بقای پایین‌تری برخوردار بودند، در حالی‌که دو اکوتیپ مذکور در کاشت دوم درصد بقای بیشتری نسبت به اکوتیپ‌های بجنورد و تربت حیدریه داشتند. نتایج حاصل از LT_{50su} بیانگر آن بود که اکوتیپ بجنورد در کاشت اول و اکوتیپ خواف در کاشت دوم از تحمل به یخزدگی بیشتری برخوردار بودند. ممکن است عکس‌العمل متفاوت اکوتیپ‌های سیر در مراحل مختلف تنش ناشی از خصوصیات ژنتیکی و منشأ جغرافیایی آن‌ها باشد. از نظر بازیافت (ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک) نیز گیاهان تاریخ کاشت دوم دارای ارتفاع و ماده خشک بیشتری بودند. اکوتیپ بجنورد در کاشت دوم سطح برگ کمتری نسبت به کاشت اول داشت در حالی‌که بقیه اکوتیپ‌ها سطح برگ بیشتری در کاشت دوم داشتند. هرچند که با تغییر تاریخ کاشت، وزن خشک گیاهان کاشت دوم در تمام اکوتیپ‌ها افزایش یافت ولی درصد افزایش وزن خشک در اکوتیپ خواف بیشتر بود. همچنین بر اساس شاخص‌های $RDMT_{50}$ و $RLAT_{50}$ اکوتیپ بجنورد در هر دو تاریخ کاشت متحمل‌ترین اکوتیپ مورد مطالعه و اکوتیپ خواف در کاشت اول حساس‌ترین اکوتیپ تشخیص داده شد.

References

1. Abbasifar, A. 2000. Evaluation of the adaptability and suitable planting date of selected garlic varites in Markazi province. Proceeding of the 2nd Iranian Horticultural Sciences Congress. Karaj, Iran. Pp. 161. (in Persian).
2. Amir-Ghasemi, T. 2002. Freezing in Plants (frost, prediction and protection). Nashre Ayandegan Publications. 123p. (in Persian).
3. Anderson, J. A., and Taliaferro, C. M. 1995. Laboratory freeze tolerance of field grown forage bermudagrass cultivars. Agronomy Journal 87: 1017-1020.
4. Azizi, H., Nezami, A., Nassiri, M., and Khazaie, H. R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 5: 109-121. (in Persian with English abstract).
5. Azizi, H., Nezami, A., Nassiri, M., and Khazaie, H. R. 2008. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under field conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 6 (2): 343-352. (in Persian with English abstract).
6. Bayat, F., and Nosrati, A. E. 2001.The effect of harvesting time and drying in natural and artificial conditions on the storability of white garlic population of Hamadan. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25 (1): 49-63. (in Persian).
7. Borna, F., Omid Beygi, R., and Sefid Kon, F. 2007. Effects of different sowing dates on growth, yield of growth body and essence of medicine plant (*Dracocephalum moldavica* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23 (3): 307-314. (in Persian).

8. Calcagno, F., and Gallo, G. 1993. Physiological and morphological basis of abiotic stress resistance in chickpea. In breeding for stress Tolerance in Cool- season food legumes (ed. K. B. Singh, R. S. Malhotra, and M.C. Saxena), pp. 293-309. John Wiley and Sons. West Sussex, UK.
9. Dexter, S. T. 1993. Effects of several environmental factors on hardening of plants. Plant Physiology 8:123-139.
10. FAO STAT. 2012. http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx.
11. Fowler, D. B., Gusta, L. V., and Tyler, N. J. 1981. Selection for winter hardiness in wheat. III. Screening methods. Crop Science 21: 896-901.
12. Ganj-Khanlou, E., Moghaddam, M., mohammadi, A., Shakiba, M. R., Gasemi, K., and Uosefi, A. 2012. Assessment of barley genotypes for crown freezing tolerance and some physiological characters. Journal of Seed and Plant Breeding 28-1 (1): 85-100. (in Persian).
13. Gostin, J. N. 2009. Structural modification induce air pollution in *Plantago lancoelata* leaves. Tom. XVI/1. 1:61-65.
14. Gusta, L.V., Fowler, D. B., and Tyler, N. J. 1982. Factors influencing hardening and survival in winter wheat. Li, P.H. and Sakai, A. (Ed.) In: Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. Mechanisms and Crop Implications. Academic Press, London.
15. Hazrati, E. 2014. Evaluation of growth and physiological traits of clover (*Trifolium* spp L.) species affected by freezing stress under controlled conditions. MSc thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
16. Jalilian, A., Mzaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Abdollahian-Noghabi, M., Rahimian, H., and Ahmadi, A. 2009. Effect of freezing damage at seedling stage in different sugar beet cultivars. Iranian Journal of Crop Science 10 (4): 400-415. (in Persian with English abstract).
17. Javad Mousavi, M., Nezami, S., Izadi, E., Nezami, A., Yousef Sani, M., and Keykha-Akhar, F. 2011. Evaluation of freezing tolerance of English daisy (*Bellis perennis*) under controlled conditions. Journal of Water and Soil 25 (2): 380-388. (in Persian with English abstract).
18. Kazemi, Sh., and Hazbavi, A. 2009. Cold stress in plants. Mandegar Publication. (in Persian).
19. Keykha-Akhar, F., Bagheri, A., Moshtaghi, N., and Nezami, A. 2011. The effect of gamma radiation on freezing tolerance of chickpea (*Cicer aretinum* L.) at in vitro culture. Journal of Biological Environmental Sciences 5 (14): 63-70.
20. Kilgori, M. J., Magaji, M. D., and Yakubu, A. I. 2007. Effect of plant spacing and date of planting on yield of two garlic (*Allium sativum* L.) cultivars in Sokoto, Nigeria. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 2 (2): 153-174.
21. Khorsandi, T., Nezami, A., Kafi, M., and Goldani, M. 2015. Effect of late spring cold on Black cumin (*Nigella sativa* L.) plant under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (4): 665-676. (in Persian).
22. Maleki-Farahani, S., and Chaichi, M. R. 2008. Evaluation of freezing stress effect on Black Chiclpea (*Cicer arietinum* L.) ecotypes (Desi type) in greenhouse conditions. Journal of Agronomy Sciences 1 (2): 27- 34. (in Persian with English abstract).
23. Mirmohamadi Meibodi, A., and Tarkeshe Esfahani, C. 2004. Aspects of Physiology and breeding for Cold and Freezing in Crops. Golbon Publication, Isfahan, Iran. 223 pp. (in Persian).
24. Moshtaghi, N., Bagheri, A. R., Nezami, A., and Moshtaghi, S. 2009. Investigation of betaine spray on freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 647-656. (in Persian with English abstract).
25. Nazari, M., Maali Amiri, R., Mehraban, F. H., and Khaneghah, H. Z. 2012. Change in antioxidant responses against oxidative damage in black chickpea following cold acclimation. Russian Journal of Plant Physiology 59 (2): 209-215.
26. Nezami, A., Bagheri, A., Rahimian, H., Kafi, M., and Nasiri Mahallati, M. 2007. Evaluation of freezing tolerance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under controlled conditions. Journal of Agricultural and Natural Research 10 (4) 257-269. (in Persian with English abstract).
27. Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., and JavadMosavi, M. 2009. Evaluation of freezing tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars acclimated under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7 (2): 711-722. (in Persian with English abstract).
28. Peyvast, Gh. 2000. Special Olericulture. First Edition, Agriculture Sciences of press. 384 pp. (in Persian).
29. Qian, Y. L., Ball, S., Tan, Z., Koski, A. J., and Wilhelm, S. J. 2001. Freezing tolerance of six cultivars of Buffalograss. Crop Science 41: 1174-1178.
30. Rashedmohassel, M., Nezami, A., Bagheri, A., Hajmohammadnia, K., and Bannayan, M. 2009. Evaluation of freezing tolerance of two fennel (*Foeniculum vulgar*) ecotypes under controlled conditions. Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants 15: 131-140.
31. Sato, T., and Miyata, G. 2000. The nutraceutical benefit, part iv: garlic. Nutrition 16: 787-780.
32. Shahab, M. A., Qian, Y. L., Hughes, H. G., and Koski, A. J. 2003. Cold hardiness of salt grass accessions. Crop Science 43: 2142-2147.

33. Siahmargooei, A., Azizi, G., Nezami, A., and Jahani-Kondori, M. 2011. Evaluation of freezing tolerance of growthed fennel ecotypes in field under controlled conditions. Journal of Horticulture Sciences 25 (1): 64-72. (in Persian).
34. Singh, K. B., Malhotra, R. S., and Saxena, M. C. 1989. Chickpea evaluation for cold tolerance under field conditions. Crop Science 29: 282-285.
35. Singh, K. B., Malhotra, R. S., Saxena, M. C., and Bejia, G. 1997. Superiority of winter sowing over traditional spring sowing of chickpea in the Mediterranean region. Agronomy Journal 89: 112-118.
36. Smallwood, M., and Bowles, D. 2002. Plants in a cold climate. Philos. Philosophical Transactions of Royal Society of London Series B. 367: 831-847.
37. Waner, L. A., and Junttila, O. 1999. Cold-induced freezing tolerance in Arabidopsis. Plant Physiology 120: 391-399.
38. Waterer, D. D. R. 2001.Garlic production on prairies. University of Saskatchewan. HortScience 32: 1102-1104.
39. Workmaster, B. A., and Palta, J. P. 2006. Shifts in bud and leaf hardiness during spring growth and development of the cranberry upright: regrowth potential as an indicator of hardiness. Journal of the American Society for Horticultural Science 131 (3): 327-337.
40. Xin, Z., and Browse, J. 2000. Cold comfort farm: The acclimation of plants to freezing temperature. Plant Cell Environmental 23: 893-902.
41. Zhang, Q., Fry, J., Rajashekar, C., Bremer, D., and Engelke, M. 2009. Membrane Polar Lipid Changes in Zoysiagrass Rhizomes and Their Potential Role in Freezing Tolerance. Journal of American Society for Horticulture Science 134 (3): 322-328.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 1-14

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۴-۱

Freezing Tolerance of Garlic Ecotypes (*Allium sativum* L.) under Controlled Conditions

S. Pazireh[1], A. Nezami[2*], M. Kafi[2], M. Goldani[3]

Received: 03-11-2016
Accepted: 13-02-2018

Introduction

Garlic is a medicinal and cool season plant, but there is not much information on its level of cold tolerance. Khorasan province is one of the suitable areas for growing garlic. The conventional planting date of garlic in this region takes place between 6 October and 5 December. Available evidences shows that garlic plants have been affected by cold stress due to inappropriate planting date. Some researchers have recommended the use of controlled freezing tests as a suitable approach to assess cold tolerance of plants. In this regard, it is stated that LT_{50su} in wheat had the highest correlation with field survival index when the crown was exposed to cold stress. The present experiment was conducted to study cold tolerance and understanding the most critical growth stages of garlic ecotypes to cold stress under controlled conditions.

Materials and Methods

This experiment was conducted as a factorial based on completely randomized design with four replications in Agricultural Faculty of Ferdowsi University of Mashhad during 2012. The experimental factors included two levels of planting date (18 September and 21 October), garlic ecotype in four levels (Bojnurd, *Torbat-e Heydarieh,* Neyshabur and Khaf) and eight levels of freezing temperature (0, -3, -6, -9, -12, -15, -18 and -21°C). Plants that grown in outside conditions and acclimated to cold temperatures were transferred to the thermogradient freezer to apply cold stress. Survival percentage, Lethal Temperature 50% mortality according to the survival percentage (LT_{50su}), plant height, leaf area, reduced leaf area temperature 50 ($RLAT_{50}$), dry weight and reduced dry matter temperature 50 ($RDMT_{50}$) were determined at three weeks after applying the stress.

Results and Discussion

In the first planting date, the survival of Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes decreased 20% and 26% at -15 °C compared with zero temperature, respectively, while two other ecotypes disappeared at this temperature. In the second planting date, Khaf and Bojnurd ecotypes had a good survival at -15 °C while Neyshabur and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes disappeared 60 and 67% at this temperature, respectively. Since the growth stage has an effect on cold acclimation and stress tolerance, this response can be due to difference in the growth stage of plants. However, this reaction was different depending on the ecotypes. With changing planting date from September to October, LT_{50su} decreased 9.6 and 6 °C in Khaf and Neysabur ecotypes, and increased 3.9 and 2 °C in Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes, respectively. In the first planting date with decreasing temperature from zero to -18 °C, the maximum and minimum decrease in height (90 and 27%) were observed in *Torbat-e Heydarieh* and Bojnurd ecotypes, and Neyshabur and Khaf ecotypes disappeared at this temperature. Also, in the second planting date with decreasing temperature from zero to -15 °C, plant height decreased 47, 52 and 30% in Khaf, *Torbat-e Heydarieh* and Neyshabur ecotypes, respectively. However, plants height of Bojnurd ecotype decreased only 4% under similar conditions. In the first planting date Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes had the lowest decrease in leaf area (about 3 and 17%, respectively) at 12 °C compared with zero temperature, while Khaf and Neyshabur ecotypes assigned to themselves the highest decrease in leaf area (about 85 and 58%, respectively). Also, in the second planting date leaf area of Bojnurd ecotype decreased 18% at -15 °C compared with zero temperature, while in similar conditions *Torbat-e Heydarieh*, Khaf and Neyshabur ecotypes had 56, 38 and 58% decrease in leaf area, respectively. The lowest decrease in dry matter percentage was observed in Neyshabur (23%) and Bojnurd (22%) ecotypes in the first and second planting date, respectively, following decreasing temperature to -12 °C. Studies have shown that plants with faster growth before the frost were more sensitive to cold temperatures and as a result, damaged more. So, it seems that increasing growth of Khaf and Neyshabur ecotypes and their progress towards more advanced growth stages reduced cold tolerance of these plants in the first planting date.

1- MSc student of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2 and 3- Professor and Associate Professor, respectively, Faculty Member of Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: Nezami@um.ac.ir)

Conclusions

Freezing stress decreased survival percentage and recovery of garlic ecotypes. In the first planting date Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes had a better survival percentage and Khaf and Neyshabur ecotypes had lower survival percentage while in the second planting date Khaf and Neyshabur ecotypes had higher survival percentage than Bojnurd and *Torbat-e Heydarieh* ecotypes. Also, results of LT_{50su} indicated that Bojnurd and Khaf ecotypes had higher freezing tolerance in the first and second planting date, respectively. Different reactions of garlic ecotypes at various stages of stress may be due to their genetic characteristics and geographic origin. In terms of recovery (height, leaf area and dry weight), the plants of the second planting date had more height and dry matter, as well. Based on the $RDMT_{50}$ and $RLAT_{50}$, moreover, Bojnurd ecotype in both planting date and Khaf ecotype in the first planting date were recognized as most tolerant and sensitive ecotypes, respectively.

Keywords: Cold stress, Dry weight, Planting date, Recovery, Survival percentage